

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 24320101152253

UDC \_\_\_\_\_

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

基于单张正面人脸图像的  
三维人头模型重建方法研究

Research on 3D Head Model Reconstruction

Based on Single Front Face Image

宋 桔

指导教师姓名: 姚 俊 峰 教 授

专 业 名 称: 计算机软件与理论

论文提交日期: 2013 年 4 月

论文答辩日期: 2013 年 5 月

学位授予日期: 2013 年 月

指 导 教 师: \_\_\_\_\_

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

2013 年 6 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘要

自从上世纪 70 年代 Parke 建立第一个三维人脸模型以来，三维人脸重建就成为了计算机图形学领域中的研究重点，并取得了一定的突破和进展。目前该技术也已被广泛应用于影视动漫、医学图形、人脸识别等领域。而如果有一种手段使得通过后脑勺的照片就可以预测人脸正面特征，这样公安人员侦破违法犯罪的成功率就会大大增加，然而首先研究清楚人脸正面特征与后脑勺之间的关系是实现前者必要的基础和前提条件。目前学者们集中于基于正面图像的三维人脸建模，没有对后脑勺的建模进行详细的研究。因此研究如何通过正面人脸图像生成包括后脑勺的三维人头模型，从而反过来根据后脑勺推测人脸正面特征，其意义重大。

本文就在这个思想的基础上，分析调查了人脸与后脑勺之间的潜在相关性，并对如何找到正面人脸特征点与后脑勺特征点的映射方法进行了探讨和研究。

本文的研究工作主要包括以下三个部分：1、对前学者们的三维人脸建模工作做了归纳总结，对人头结构，人脸和后脑勺的特征点及潜在相关性进行了深入调研；2、在调研的基础上，基于神经网络算法研究了正面人脸特征点与后脑勺特征点的映射方法，并建立了初步的前后映射关系，并对算法的部分做了相关理论证明；3、利用建立起来的映射关系对三维人头建模方法进行了研究。

本文的创新之处主要在于挖掘出了人脸特征点与后脑勺特征点的映射关系。研究结果表明，本文的方法能够从单张正面人脸图像生成相对真实的三维人头模型，并为该方向更深入的研究奠定了基础。

**关键词：**正面人脸图像；三维人头建模；神经网络算法

## Abstract

Since Parke built the first 3D face model in 1970s, 3D face reconstruction has become a research focus in the field of computer graphics, and made some breakthroughs and progress. At present, the technology has been widely used in Television Animation, medical graphics, face recognition and other fields. And if there is an approach, which can predict the positive characteristics of human face through the back of head photo, the success rate of police detecting crimes will be greatly increased. Apparently, research in relationship between frontal face characteristics and back of head is necessary premise of this method. At present, scholars focus on exploring the front photo based 3D face modeling method, but ignore detailed study of the back of head modeling. Therefore, it is significant how to generate 3D head model through front photos of face, including the 3D back of head model, then features of the back of head can conjecture the front facial features in reverse.

In this paper, the potential correlation between face and the back of the head has been analyzed, and discussed and researched the mapping correlation between face feature points and the back feature points.

The main research work in this paper includes the following three parts: First, Summarized the works of the previous scholars of 3D face modeling, researched the head structure, the feature points of face and the back of the head and the potential correlation between them; Second, On the basis of the investigation and research, the mapping method between face feature points and the back feature points has been researched, and established the mapping relationship preliminary, and provide related algorithm theory proof; Third, we researched the 3D head reconstruction method using the established mapping relationship.

The main innovation of this paper is that discover the mapping correlation between the face feature points and the back feature points. Research results show that the method can rebuild a very real 3D head model from single front face image, and establish the foundation for further research in this field.

**Key words:** Frontal Face Image; Three Dimensional Human Head Modeling; Neural Network Algorithm

厦门大学博硕士论文摘要库

# 目录

<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 项目背景及意义 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.3 主要研究目标及内容 .....	5
1.4 论文的结构安排 .....	6
<b>第二章 相关研究介绍 .....</b>	<b>7</b>
2.1 人头结构研究 .....	7
2.2 人脸及后脑勺特征点的标定 .....	9
2.3 基于图像的三维人头模型重建技术研究 .....	11
2.3.1 人头模型的研究.....	11
2.3.2 三维人头模型重建技术的研究.....	15
2.4 本章小结 .....	18
<b>第三章 人脸与后脑勺特征点的映射关系 .....</b>	<b>19</b>
3.1 三维人头模型仿真数据库的建立 .....	19
3.2 神经网络算法介绍 .....	22
3.2.1 BP 神经网络算法.....	23
3.2.2 RBF 神经网络算法 .....	25
3.2.3 广义回归神经网络算法.....	26
3.3 应用神经网络算法建立人脸与后脑勺特征点的映射关系 .....	28
3.4 算法改进及其应用研究 .....	31
3.4.1 算法改进概述.....	31
3.4.2 算法改进训练结果对比分析.....	38
3.4.3 算法改进性能效果理论分析.....	41
3.4.4 算法改进收敛性能理论证明.....	42
3.5 本章小结 .....	46
<b>第四章 基于单张正面人脸图像的三维人头模型重建.....</b>	<b>47</b>

4.1 Candide-3 网格模型.....	47
4.2 形状和纹理的重建 .....	49
4.2.1 特征点的匹配.....	49
4.2.2 非特征点的调整.....	52
4.2.3 后脑勺数据的计算及调整.....	53
4.3 重建结果演示 .....	54
4.4 本章小结 .....	55
第五章 总结与展望 .....	57
5.1 总结 .....	57
5.2 展望 .....	57
参考文献 .....	59
硕士阶段发表论文的情况 .....	64
致谢.....	65



# Contents

<b>Chapter1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Research Background and Significance.....	1
1.2 Reserch Actuality .....	2
1.3 Main Research Targets and Contents.....	5
1.4 Chapter Arrangement .....	6
<b>Chapter 2 The Introduction of Related Research.....</b>	<b>7</b>
2.1 The Head Structure Research.....	7
2.2 The Confrim of Face and the Back of the Head Feature Points.....	9
2.3 The Research of 3D Head Model Reconstruction Technology Based on Image.....	11
2.1.1 The Research of the Head Model.....	11
2.1.2 The Research of 3D Head Model Reconstruction Technology.....	15
2.3 Chapter Summary .....	18
<b>Chapter 3 The Mapping Correlation between the Feature Points of Face and the Back of the Head .....</b>	<b>19</b>
3.1 The 3D Head Model Simulation Database.....	19
3.2 The Introduction of Neural Network Algorithms.....	22
3.2.1 BP Netual Network Algorithms .....	23
3.2.2 RBF Netual Network Algorithms .....	25
3.2.3 General Regression Netual Network Algorithms .....	26
3.3 Build the Mapping Correlation Between the Feature Points of Face and the Back of the Head by Using Neural Network Algorithm .....	28
3.4 Algorithm Improvement and its Application Research .....	31
3.4.1 The Introduction of Algorithm Improvement .....	31
3.4.2 The Training Result Analysis of the Improved Algorithm.....	38
3.4.3 The Performance Theoretical Analysis of the Improved Algorithm.....	41

3.4.4 The ConvergencePerformance Theoretical Proof of the Improved Algorithm.....	42
<b>3.5 Chapter Summary .....</b>	<b>41</b>
<b>Chapter 4The 3D Head Model Reconstruction Based on Single Front</b>	
<b>Face Image.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Candide-3 Mesh Model.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2 The Reconstruction of Shape and Texture .....</b>	<b>49</b>
4.2.1 The matching of the Feature Points .....	49
4.2.2 The Adjustment of the Non-Feature Points .....	52
4.2.3 The Mapping and Adjustment of the Back of the Head Datas .....	53
<b>4.3 The Presents of the Reconstruction Result.....</b>	<b>54</b>
<b>4.4 Chapter Summary .....</b>	<b>55</b>
<b>Chapter 5 Summary and Prospect .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1 Summary.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2 Prospect.....</b>	<b>57</b>
<b>References .....</b>	<b>59</b>
<b>Scientific Researchs .....</b>	<b>64</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>65</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 项目背景及意义

随着计算机图形学与计算机视觉领域的发展,三维人脸的重建技术作为计算机图形学领域的研究热点<sup>[1]</sup>,也越趋成熟。

人脸具有非常复杂的生理构造,包含非常重要的生理与心理信息,能够传递广泛的信息。三维人脸建模技术的研究发展已经为医学、生物学、人体解剖学、生理学、心理学、物理学等学科领域提供了许多借鉴思路,对人脸识别、医学、影视和游戏的发展与繁荣提供技术支持,缓解甚至了解决一些现实生活中的一些问题,已经渗透到社会的各个方面。主要体现在以下几个方面:

1) 人脸识别:二维图像受到光照、姿势、表情变化等因素的影响,其识别的准确度有很大的限制。而三维人头图像可以提供更加全面的信息。

2) 医学图形:可以让医生进行虚拟手术仿真,然后制定出详细准确的手术方案,能够大大地提高手术的成功率。

3) 影视制作:像《阿凡达》、《怪物史莱克》和《冰河世纪》等等运用三维建模技术所制作的<sup>[2]</sup>,让观众获得更加震撼的视觉体验,如图 1-1 所示。

4) 安全领域:包括视频监控、生物特征识别和身份认定等。



(a) 阿凡达中的 3D 人物设计



(b) 怪物史莱克中的 3D 人物设计

图 1-1 影视制作中设计的 3D 人物

而真实详细的脸部信息的获取成本昂贵，例如需要利用三维激光扫描仪，而且由于环境因素或者建模对象的配合程度的影响导致实施起来比较困难。要么所需要都图像是两张或两张以上的或者有视频图像序列，以便提取足够脸部详细信息来创建人头模型。其虽然可以快速重建出人头模型，但多张图像或视频图像序列也不可能随时都能取到。

在此基础上，基于单张图像的三维人头重建更引起了广泛研究者的关注。单张正面人脸图像相对比较容易获取，存储量较小，所需要的条件也较少，更符合现实生活中的情况。因此围绕着基于单张二维图像来重建三维人头模型目前有很多研究，但单张图像由于信息量较少，使得基于单张图像的三维重建技术难度更高，国内相关文献资料也较少。在此种种背景下，基于单张图像的三维重建技术的研究更有深远意义。

## 1.2 国内外研究现状

近年来，基于单张图像生成三维人脸的研究一直是计算机领域比较活跃比较有实用价值的研究课题，出现了一定的研究成果，在各方面都有一定的改进和创新。

国外在三维人脸建模方面的发展比较迅速。三维人脸模型从 1972 年由 Parke<sup>[3]</sup>首次提出，自此以后，出现了大量的三维人脸模型。并随之不久，就有学者提出特定人脸的三维模型的建模方法。目前基于单张图像的三维人脸重建所采

用的方法主要有明暗恢复形状法 (Shape from shading, SFS) 和模型辅助法。明暗恢复形状法<sup>[4]</sup>是最早基于单幅图像进行人脸重建的算法, 该方法在 Lambertian 光照模型的假设前提下, 从单张图像中恢复三维人脸表面图形。但这种方法在眉毛、眼睛等器官上无法估计出准确的深度信息, 而且其本身属于病态的问题, 一直存在凹凸二义性问题。Ira 和 Ronen 等人<sup>[5]</sup>结合 SFS 方法和模型辅助的方法很好的重建了人脸模型。

另外一种方法是用一个模型来辅助三维人脸的重建。由于人脸具有相同的面部结构 (如眼睛、鼻子、嘴巴等) 和相似的面部动作 (如眼睛的睁闭, 嘴巴的开合等), 这些相同的特征为建立标准人脸模型奠定了生理基础。但每个人脸又有自己的个性特征, 如眼睛大小形状不一, 眉毛的粗细长度各异, 有了这些个性特征, 不同的人脸之间才有区分度。标准的人脸模型含有丰富的先验知识 (如结构信息和肌肉模型等), 可以描绘人脸的共有特性<sup>[6]</sup>。

最具代表性的模型方法为, 1999 年, 德国学者 Blanz 和 Vetter 提出的三维形变模型 (3D Morphable Model) <sup>[7]</sup>, 该方法是第一个基于形变模型的单幅重建算法, 第一次实现了人脸建模的自动化, 是三维建模发展的一个基石。基于 3D Morphable Model 方法的基础上, 研究者相继提出各种基于单幅图像的三维重建优化方法<sup>[8]</sup>, Blanz 和 Vetter 继而提出了牛顿随机最优化算法 (Stochastic Newton Optimization, SNO) <sup>[9]</sup>, 该方法可以得到比较精确的参数, 但效率比较低。Romdhani 和 Vetter 提出反向合成图像对齐算法 (Inverse Compositional Image Alignment, ICIA) <sup>[10]</sup>, 该方法采用将三维空间投影到二维空间的, 估算出形状和纹理参数的变换, 再将参数从二维转换到三维, 迭代, 直至收敛。该算法运算效率有所提高, 但受光照影响大, 会损失其原有效率。Romdhani 和 Blanz 等人提出了线性形状纹理适应性算法 (linear shape and texture fitting algorithm, LiST) <sup>[11]</sup>, 该算法比 SNO 快五倍, 与 ICIA 比较类似, 采用 2D 光流法建立对应关系, 相较于 SNO 牺牲掉了光线和纹理恢复的准确性。图像的合成效果一直不好, 也有 ICIA 的缺点。Jiang 等人提出形状对齐与插值法修正算法 (shape alignment and interpolation method correction, SAIMC) <sup>[12]</sup>, 该方法采用 2D 与 3D 的结合, 重建速度快, 有较好的真实感, 但要求输入图片为一般表情和正常光照。

Ankur 和 William 等人<sup>[13]</sup>, 回顾了 3D 形变模型的基础上, 对使用的统计分

析工具进行了论证,展现了一张不论姿势的单张人脸图片,稀疏的特征点的情况下,重建出的三维人脸,误差不超过 3.6mm。

在重建方法优化的基础上,研究者们开始寻找其他的突破点。比如输入照片条件的放松,即姿势问题。Jongmoo 和 Gerard 等人<sup>[14]</sup>最新的文章就展现了图片可为各种姿势,还有 Akshay 和 Tom 等人<sup>[15]</sup>采用基于回归的方法来综合分析相片以解决人头的姿势问题。Sung 等人<sup>[16]</sup>借鉴被广泛应用于参数评估的 EM 算法,来评估由姿势等因素而遗失的潜在信息。

在特征点提取的自动化方面,之前为了重建的准确性,某些特征点需要手动标记。特征点自动化提取为,在保证精确度的问题上,减少人工交互。Breuer 和 Kim 等人<sup>[17]</sup>提出基于支持向量机(SVM)和 3DMM 相结合的方法,使得三维人脸的重建过程完全自动化。在支持向量机探测到人脸后,个体人脸特征点采用基于回归和分类的方法探测得到。

国内紧跟国际形势于 20 世纪 90 年代开始了相关的研究。马倩<sup>[18]</sup>在基于图像明暗信息来恢复形状的基础上,提出了一种基于水平集算法和能量最小化方法的三维重建算法。很好的解决了明暗恢复形状方法所不可避免的凹凸二义性问题。邓秋平<sup>[16]</sup>在研究三维人脸统计模型的基础上提出了新的统计模型建立方法。并提出了高效率的基于单张图像的重建方法,大大减少了重建时间。杜春华<sup>[19]</sup>重点研究了 ASM(Active Shape Models)和 AAM(Active Appearance Models)人脸特征点定位方法,并深入分析了 ASM,并对其加以改进,加强了特征点寻找的鲁棒性。涂意,赵群飞,卢芳芳等人<sup>[20]</sup>,在 ASM 特征点定位方法的基础上,提出了基于肤色模型优化的 ASM 提取人脸特征,使得一定角度的侧面照片也可以有很好的重建效果。王国胤等人<sup>[21]</sup>对人脸感知从二维到三维也做了卓有成效的工作,根据单张照片利用两步人脸建模方法(TSFM 法)进行了三维人脸建模的研究。Mestetskiy 等人<sup>[22]</sup>对 3D 人脸重建的算法准确度方面进行了评估,Ronen Basri 等人<sup>[23]</sup>参考一张人脸照片利用正面人脸照片生成了 3D 人脸模型。孙天凯等人<sup>[24]</sup>提出一种基于单张图像的三维人脸建模和表情动画系统自动检测人脸在图像中的位置、自动定位人脸上的关键点、基于这些关键点和形变模型重建个性化三维人脸模型。鹿乐等人<sup>[25]</sup>提出一种基于特征分块的三维人脸重建算法,并将此算法应用到三维人脸识别中,实现了基于特征分块的加权三维人脸识别。

通过上面的研究现状分析可以看出,虽然有关三维人脸建模技术的研究还比较多,但对整个人头的研究却很有限,对后脑勺的建模研究很少,尤其是对利用人脸正面特征点与后脑勺特征点映射关系进行三维人头的建模更加需要深入研究和探讨。

### 1.3 主要研究目标及内容

本文研究旨在通过单张正面人脸图像构建三维人头模型,以揭示人头整体的相关性及其体现出的个体差异性。建立起脸部特征点与后脑勺特征点之间的映射关系的系统。通过它可以从脸部的特征点(全部或部分的特征点)推断出后脑勺的特征点数据。反之,从后脑勺特征数据可以推断出脸部的特征数据。为公安人员通过头型侦破案件提供强有力的技术支持,促进社会更加和谐地发展。

由于我们是基于单张正面人脸图像来构建人脸模型,我们面临着人脸及头部信息量少,受光照影响大以及更难测试深度信息所带来的挑战。要想在这基础上构建出比较真实的人脸甚至人头,需要有足够的人脸先验信息,构建出人脸模型的同时,并能挖掘出后脑勺与人脸的潜在相关性,从而推断并构建出后脑勺模型,进而整个人头模型。

根据以上的要求及分析,我们的研究内容主要分为三个部分:正面人脸及后脑勺特征点的科学选取、正面特征点与后脑勺特征点的映射关系方法研究、利用前后特征点映射关系进行三维人头建模方法研究。

1、正面人脸及后脑勺特征点的科学选取:由于人脸的特征比较明显,相关的特征测量点的选取在人体测量点<sup>[26-28]</sup>等资料方面都有相应的定位,而后脑勺的特征点则需要我们根据生物生理结构等信息进行科学选取,根据隐藏或丢失的信息再加上先验知识与医学上人头结构推断出人的后脑勺的特征点。

2、正面特征点与后脑勺特征点映射关系方法研究:

人脸与后脑勺的映射关系,就是在给定人脸特征数据的情况下,较准确地推断出其相对映的后脑勺特征,反之也成立。换句话说,就是要构建一个可以实现前后对映关系的映射系统。从生物学的角度上看,这种关系应该是存在的,不同人的不同基因决定着人的不同形态,人脸与后脑勺的形态都是由同一个基因决定,所以它们之间也必存在着某种对映的关系。利用已有相关的人头数据资源,采用统计学结合人工智能的方法,训练足够的样本,从而学习出其前后的潜在映射关

系。

### 3、利用前后特征点映射关系进行三维人头建模

本文希望在基于单张正面图像构建人脸模型的时候，能够同时构建出后脑勺的模型，生成整个三维人头，所以用获取到的特征点三维数据坐标对标准Candide-3 人头模型中对应的点进行调整，生成特定人脸的三维形状；然后利用建立起来的前后特征点映射关系，将特定人脸的三维模型与后脑勺特征点进行对接，从而生成整个三维人头模型。

## 1.4 论文的结构安排

本文共分为五个部分，各部分内容安排如下：

第一章绪论。本章阐述了项目的背景意义，国内外研究现状，以及研究的目标和具体内容；

第二章，对三维人脸模型的发展以及基于图像的三维重建技术进行了介绍，并基于生理解剖学，对人头结构进行了详细研究，为第三章的研究过程做充分的准备；

第三章，人脸与后脑勺映射关系的研究，包括数据库的建立，算法的研究，以及映射关系的训练及结果分析。为基于单张正面人脸图像的三维人头重建奠定了基础；

第四章，详细描述了基于单张正面人脸图像的三维人头重建过程。并展示了重建结果；

第五章，对基于单张正面人脸图像的三维人头重建，本文所做的工作进行了总结，并对研究工作中存在的缺陷和不足之处进行了分析和展望。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库